

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 04003127 A

(43) Date of publication of application: 08.01.92

(51) Int. Cl

G02F 1/37

G02B 6/12

(21) Application number: 02106070

(71) Applicant: FUJITSU LTD

(22) Date of filing: 20.04.90

(72) Inventor: SAWAKI IPPEI

(54) WAVEGUIDE TYPE SECOND HARMONIC WAVE
GENERATING ELEMENT

improves.

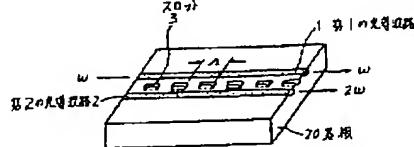
COPYRIGHT: (C)1992,JPO&Japio

(57) Abstract:

PURPOSE: To efficiently obtain second harmonic light by changing the coupling coefft. of a 1st optical waveguide and a 2nd optical waveguide in the period satisfying a specific relation.

$$\beta_2(2\omega) - 2\beta_1(\omega) = 2\pi m / A$$

CONSTITUTION: A mask consisting of a sputtered film of SiO_2 is formed excluding the parts where 1st and 2nd optical waveguides 1 and 2 are formed. This mask is immersed for several tens minutes to several hours into the melt of heated benzoic acid ($\text{H}_6\text{H}_5\text{COOH}$) to form the optical waveguide by making the refractive index higher than in the circumferential refractive index part. The width and depth of the respective optical waveguides, the width of slots 3, and other detailed conditions are so set as to satisfy equation 1 in this case. In the equation, $\beta_2(2\omega)$ is the propagation constant of the second harmonic wave for the 2nd optical waveguide 2; $\beta_1(\omega)$ is the propagation constant of the basic wave for the 1st optical waveguide 1; m is a positive odd number; A is a period. The power density of the basic wave light increases and the conversion efficiency



⑩ 日本国特許庁 (JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

平4-3127

⑬ Int. Cl. 5

G 02 F 1/37
G 02 B 6/12

識別記号

7246-2K
H 7036-2K

⑭ 公開 平成4年(1992)1月8日

審査請求 未請求 請求項の数 10 (全7頁)

⑮ 発明の名称 導波路型第2高調波発生素子

⑯ 特 願 平2-106070

⑰ 出 願 平2(1990)4月20日

⑱ 発明者 佐 脇 一 平 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会会
社内

⑲ 出願人 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

⑳ 代理人 弁理士 井桁 貞一

明細書

1. 発明の名称

導波路型第2高調波発生素子

2. 特許請求の範囲

(1) 強誘電体結晶からなる基板(20)上に基本波が伝播する第1の光導波路(1)と第2高調波が伝播する第2の光導波路(2)とが、第2高調波の光に対して方向性結合器をなすごとに近接して配設され、前記第2の光導波路(2)に対する第2高調波の伝播定数を $\beta_2(2\omega)$ 、前記第1の光導波路

(1)に対する基本波の伝播定数を $\beta_1(\omega)$ 、 m を正の奇数とした時、前記第1の光導波路(1)と第2の光導波路(2)の結合係数が、 $\beta_2(2\omega) - 2\beta_1(\omega) = 2\pi m / \Lambda$ なる関係を満足する周期 Λ で変化することを特徴とした導波路型第2高調波発生素子。

(2) 前記第1の光導波路(1)と第2の光導波路(2)の間の基板(20)にスロット(3)を形成することによって、結合係数を変化させることを特徴とした

請求項(1)記載の導波路型第2高調波発生素子。

(3) 光導波路領域に光学的周期構造を設けて、基本波光と第2高調波光の屈折率差を補償してなる導波路型第2高調波発生素子において、

前記光学的周期構造の周期を徐々に変化させることを特徴とした導波路型第2高調波発生素子。

(4) 前記光学的周期構造が光導波路領域の前記基板(20)の強誘電体分域の分極反転構造であることを特徴とした請求項(3)記載の導波路型第2高調波発生素子。

(5) 前記光学的周期構造が光導波路間の結合係数の大きさの周期的変化であることを特徴とした請求項(3)記載の導波路型第2高調波発生素子。

(6) 光の入射側端面と出射側端面に、基本波光に対しては高反射率で、かつ、第2高調波光に対しては低反射率となるような膜(4)を形成することを特徴とした請求項(1)～(5)記載の導波路型第2高調波発生素子。

(7) 光の入射側端面に基本波光および第2高調波光に対して高反射率を有する膜(5)を形成し、出

特開平4-3127 (2)

射側端面には基本波光に対して高反射率で第2高調波光に対しては低反射率となるような膜(4)を形成することを特徴とした請求項(1)～(5)記載の導波路型第2高調波発生素子。

(8)光の入射側端面に基本波光に対して低反射率で第2高調波光に対しては高反射率を有する膜(6)を形成し、出射側端面には基本波光に対して高反射率で第2高調波光に対しては低反射率となるような膜(4)を形成することを特徴とした請求項(1)～(5)記載の導波路型第2高調波発生素子。

(9)前記光導波路領域に伝播定数調整用の電極(15)を設けることを特徴とした請求項(1)～(8)記載の導波路型第2高調波発生素子。

(10)請求項(8)または請求項(9)記載の導波路型第2高調波発生素子(200)が、外部共振器型レーザ発振器の共振器内部に組み込まれてなることを特徴としたレーザ発振器。

学的周期構造を設けて、基本波光と第2高調波光の屈折率差を相殺してなる導波路型第2高調波発生素子において、前記光学的周期構造の周期を徐々に変化させて許容波長帯域の広い導波路型第2高調波発生素子を構成する。

さらに、導波路型第2高調波発生素子を外部共振器型レーザ発振器の共振器内部に組み込んで第2高調波光が発生するようにレーザ発振器を構成する。

(産業上の利用分野)

本発明は、変換効率が高く許容波長帯域の広い導波路型第2高調波発生素子およびそれを用いたレーザ発振器の構成に関する。

近年、レーザ、とくに、半導体レーザ(LD)がレーザプリンタやレーザスキャナ、あるいは、光ディスクなどの光源として広く用いられるようになってきた。しかし、その一方で記憶容量の拡大や取り扱いの利便のために短波長化(たとえば、赤外光から可視光へ)に対する要求が強くなっている。

3. 発明の詳細な説明

(概要)

導波路型第2高調波発生素子およびそれを用いたレーザ発振器に関するもの。

強誘電体上に形成した光導波路において、高い変換効率を有し、かつ、許容波長帯域の広い導波路型第2高調波発生素子と、それを用いて小型・高安定の第2高調波を発生するレーザ発振器を提供することを目的とし、

強誘電体結晶からなる基板上に基本波が伝播する第1の光導波路と第2高調波が伝播する第2の光導波路とが、第2高調波の光に対して方向性結合器をなすごとに近接して配設され、前記第2の光導波路に対する第2高調波の伝播定数を $\beta_2(2\omega)$ 、前記第1の光導波路に対する基本波の伝播定数を $\beta_1(\omega)$ 、 m を正の奇数とした時、前記第1の光導波路と第2の光導波路の結合係数が、 $\beta_2(2\omega) - 2\beta_1(\omega) = 2\pi m/\Lambda$ なる関係を満足する周期 Λ で変化するように導波路型第2高調波発生素子を構成する。また、光導波路領域に光

る。半導体レーザの短波長発振化の開発も進められてはいるが、現在の技術レベルではその発振波長を600 nm以下にすることはかなり困難であり、その他の技術、たとえば、第2高調波発生(SHG)による短波長のコヒーレント光が得られるデバイスの開発が強く求められている。

(従来の技術)

従来、レーザ光の第2高調波発生素子としてはバルクの非線形光学結晶にレーザ光を通すものがよく知られている。通常の結晶では屈折率の波長分散のため基本波光の屈折率 n_1 と第2高調波光の屈折率 n_2 の差が大きく位相整合がとれず、したがって、第2高調波出力が非常に小さい。

これを解決するために位相整合を取る方法が提案されている。しかし、バルク結晶型の場合、位相整合条件を満足し、かつ、非線形光学定数も大きい結晶が得られていないため基本波の光強度を大きくしなければならず、半導体レーザのような低パワー光源に対しては実用化されるに至ってい

特開平4-3127 (3)

ない。

一方、最近になって光導波路型の素子により、大きな非線形光学定数を用いて大きな変換効率(η_{shg})を得る極めて有力な方法が提案されている。

第12図は従来の導波路型第2高調波発生素子の例を示す図で、同図(イ)は斜視図、同図(ロ)はX-X'断面図である。図中、20は基板で、たとえば、LiNbO₃の最も大きな非線形光学定数が得られる入射方向と偏波方向を取れるように+Z面を光学研磨した基板で、100は基板20上に形成された分極反転型光導波路である。同図(ロ)に示したごとく、たとえば、基板20を上向きの方向に強誘電体分極を揃え、光導波路の部分に等間隔に、たとえば、周期 Λ で分極が下向きの領域を形成すると、上向きの分極領域と新たに形成された下向きの分極領域50'が等間隔に並んだ分極反転型光導波路100が構成される。

いま、たとえば、左側から角周波数 ω のレーザ光を分極反転型光導波路100に入射させ、右側か

素子では、分極反転型光導波路100の分極反転領域50'を形成するのにTiの表面拡散を行う場合があり、結晶の光損傷が問題になることがある。

さらに、基本波光の光源として半導体レーザを用いるような場合、発振波長にバラツキがあると位相整合条件がくずれ効果的に第2高調波光が得られないといった重大な問題があり、その解決が必要であった。

〔課題を解決するための手段〕

上記の課題は、強誘電体結晶からなる基板20上に基本波が伝播する第1の光導波路1と第2高調波が伝播する第2の光導波路2とが、第2高調波の光に対して方向性結合器をなすとくに近接して配設され、前記第2の光導波路2に対する第2高調波の伝播定数を $\beta_2(2\omega)$ 、前記第1の光導波路1に対する基本波の伝播定数を $\beta_1(\omega)$ 、 m を正の奇数とした時、前記第1の光導波路1と第2の光導波路2の結合係数が、 $\beta_2(2\omega) - 2\beta_1(\omega) = 2\pi m/\Lambda$ なる関係を満足する周期 Λ で

ら出射させると次式を満足するときに位相整合条件が満たされ、大きい第2高調波出力が得られることが知られている(J.A.Armstrong, et.al., Phys. Rev. vol.127, p1918, 1962)。

$\Lambda = 2\pi m / [\beta_2(2\omega) - 2\beta_1(\omega)] \cdots (1)$
ここで、 $\beta_{100}(2\omega)$ は分極反転型光導波路100に対する第2高調波の伝播定数、 $\beta_{100}(\omega)$ は同じく基本波の伝播定数、 m は正の奇数である。

なお、上式を屈折率を用いて表すと、

$\Lambda = \lambda_0 m / 2[n_{100}(2\omega) - n_{100}(\omega)] \cdots (2)$
となる。ここで、 λ_0 は基本波の真空中の波長、 $n_{100}(2\omega)$ は分極反転型光導波路100に対する第2高調波の屈折率、 $n_{100}(\omega)$ は同じく基本波の屈折率、 m は正の奇数である。このように構成された導波路型第2高調波発生素子は、理想的には位相整合条件を満たしているのでバルク結晶型に比較して大巾に変換効率が向上する。

〔発明が解決しようとする課題〕

しかし、上記の従来の導波路型第2高調波発生

変化するようにした導波路型第2高調波発生素子により解決することができる。

また、光導波路領域に光学的周期構造を設けて、基本波光と第2高調波光の屈折率差を補償してなる導波路型第2高調波発生素子において、前記光学的周期構造の周期を徐々に変化させ導波路型第2高調波発生素子の許容波長帯域を広げることができる。

〔作用〕

本発明によれば、基本波が伝播している第1の光導波路1内の第2高調波光のパワーは、位相整合条件が満たされていないため、すなわち、基本波により各点で発生する第2高調波光の位相と伝播してくる第2高調波光の位相がずれにくいために、たとえば、周期 Λ で変動する。しかし、発生する第2高調波光の位相が伝播してくる第2高調波光に対して逆相となる領域で、両導波路間に設けられた、たとえば、スロット3によって、第2高調波光のパワーが第2の光導波路2へ移行しな

特開平4-3127 (4)

いようにしている（すなわち、モード間の結合を妨げている）ので、第2の光導波路2では同相成分だけが相算されて第2高調波光の出力が大きくなるのである。

また、光導波路領域の光学的周期構造の周期を徐々に変化させることによって、基本波光の波長がずれた場合でも変化させられている周期範囲のどこかで位相整合条件を満足することができるので、導波路型第2高調波発生系の許容波長帯域を広げることができるのである。

〔実施例〕

第1図は本発明の第1実施例を示す図である。図中、20は基板で、たとえば、厚さ0.5mm、巾10mm、長さ15mmの單一分域処理したMgOドープLiNbO₃の最も大きな非線形光学定数が得られるように、+Z面を光学研磨した基板、1および2は基板20上に形成されたプロトン交換による第1および第2の光導波路である。プロトン交換は公知のごとく、たとえば、第1および第2の光導

波路1および2となる部分を残して、たとえば、SiO₂のスパッタ膜からなるマスクを形成し、200～300°Cに加熱した安息香酸(C₆H₅COOH)の融液に数10分～数時間浸漬して、周囲の基板部分よりも屈折率を1～数%上昇させて光導波路を形成する。

第1および第2の光導波路1および2の間隔は数μm以下とするが、変換効率を高めるために基本波導波路、すなわち、第1の光導波路1への第2高調波光のしみだしによる光損傷が生じない範囲まで近接させるのがよい。

3はスロットで、たとえば、長さ3μm、深さ5μm、周期Λ=6μmのエッチング溝である。スロット3の形成には、たとえば、適当なマスクを用いてリアクティブ・イオン・エッチング(RIE)により行えよい。各光導波路の巾、深さやスロット3の巾その他の詳細条件は次式を満足するように定めればよい。

$$\beta_2(2\omega) - 2\beta_1(\omega) = 2\pi m/\Lambda \quad \dots (3)$$

ここで、 $\beta_2(2\omega)$ は第2の光導波路2に対する第2高調波の伝播定数、 $\beta_1(\omega)$ は第1の光導

波路1に対する基本波の伝播定数、mは正の奇数である。

以上のごとく本発明の導波路型第2高調波発生系を形成して、たとえば、左側から角周波数ωのレーザ光を第1の光導波路1に入射させると、第2高調波の光は第2の光導波路2の右側から高い効率で出射させることができ、たとえば、波長0.83μm、入射パワー50mWの半導体レーザ光を入射させた場合、従来の第2高調波発生系に比較して変換効率が5倍以上に向上した。

上記(3)式において、結晶長を小さくし効率を上げるために一般にはm=1を用いればよい。

以上の実施例では、強誘電体結晶としてLiNbO₃を用いたが、LiTaO₃その他の非線形光学結晶を使用してもよいことは勿論である。また、スロット3の形成法もRIEとは限らず他の方法を用いてよい。

第2図は本発明の第2実施例を示す図で、図中4は光導波路の両端面に形成された、基本波の光に対しては高反射率、第2高調波の光に対しては

低反射率となる膜で、たとえば、誘電体多層膜などである。このような構成により、基本波に対して一段のエクロンが形成され第2の光導波路2から高い効率で第2高調波の光が得られる。

なお、前記の諸図面で説明したものと同等の部分については同一符号を付し、かつ、同等部分についての説明は省略する。

第3図は本発明の第3実施例を示す図である。図中、5は光導波路の入射端面に形成された、基本波および第2高調波いずれの光に対しても高反射率となる膜で、たとえば、誘電体多層膜などである。なお、前記の諸図面で説明したものと同等の部分については同一符号を付し、かつ、同等部分についての説明は省略する。

この場合には、第2高調波の光は第2の光導波路2の右端面からだけ出射されるので、前記実施例よりもさらに高い効率の系が得られる。

第4図は本発明の第4実施例を示す図で、同図(イ)は斜視図、同図(ロ)は断面図である。図中、10は分極反転型光導波路で、同図(ロ)に示

特開平4-3127 (5)

したごとく周期が Λ_1 から Λ_n まで徐々に変化している分極反転領域50が形成されている。

具体的に分極反転光導波路10を形成するには、たとえば、MgO ドープLiNbO₃からなる基板20を上向きの方向に強誘電体分極を揃え、X 軸方向に沿って光導波路となる部分に分極反転領域50を形成する。分極反転領域50は、たとえば、公知のTi拡散法などを用いると、先ず基板20に厚さ300 nmのTiを真空蒸着し、下向きの分極反転領域50になる部分のTiが残るようにホトエッチング処理したのち約1000°Cで加熱処理すると、その部分の表面が分極反転する。このとき、入射基本波光の波長範囲を λ_1 ～ λ_n とすると、分極反転領域50の周期が次式を満たすような Λ_1 から Λ_n まで徐々に変化するように形成する。

$$\beta_1(2\omega) - 2\beta_1(\omega) = 2\pi m / \Lambda_1, \dots (4)$$

$$\beta_n(2\omega) - 2\beta_n(\omega) = 2\pi m / \Lambda_n. \dots (5)$$

ここで、 $\beta_1(2\omega), \beta_n(2\omega)$ はそれぞれ波長 λ_1, λ_n に対する第2高調波光の伝播定数、 $\beta_1(\omega), \beta_n(\omega)$ はそれぞれ波長 λ_1, λ_n に

波路型第2高調波発生素子を構成しても同様に本発明を実現することができる。

第6図は本発明の第6実施例を示す図である。本実施例は前記第1実施例で詳しく説明した前記第1の光導波路1と第2の光導波路2の間に、たとえば、スロット3を形成して両導波路間の結合係数を周期的に変化させる際に、たとえば、スロット3の周期 Λ を同様の関係を満足するように徐々に変化させても本発明が実現できる。

また、第4～第6実施例でも、第2実施例及び第3実施例で述べた機能膜を、それぞれ光導波路の入出射面に形成すれば、同様に、より高機能の導波路型第2高調波発生素子を構成することができるることは勿論である。

第7図～第9図は本発明の第8～第9実施例を示す図である。図中、15(15a, 15b, 15c)は電極、30は電源である。

なお、前記の諸図面で説明したものと同等の部分については同一符号を付し、かつ、同等部分についての説明は省略する。

対する基本波光の伝播定数である。

次いで、分極反転光導波路10となる部分を残して、たとえば、SiO₂のスパッタ膜からなるマスクを形成し、200～300°Cに加熱した安息香酸(C₆H₅COOH)の融液に数10分～数時間浸漬する、いわゆる、プロトン交換法により周囲の基板部分よりも屈折率を数%上昇させて光導波路を形成する。

これにより、波長範囲が λ_1 ～ λ_n の入射基本波光に対して、第2高調波光の発生が可能となり従来の導波路型第2高調波発生素子が、たとえば、 $\lambda = 830$ nmの基本波光の許容波長帯域が ± 0.1 nm程度であったものが、本実施例では ± 5 nm以上と大巾に許容波長帯域が拡大された。

第5図は本発明の第5実施例を示す図である。図中、11は第1の光導波路、21は第2の光導波路である。上記実施例では一導波路型の第2高調波発生素子について説明したが、2本の光導波路を用いる方向性結合器型の素子の一方の光導波路、すなわち、第1の光導波路11に上記と同様に周期 Λ が徐々に変化する分極反転領域50を形成して導

これら実施例では前記光導波路領域に伝播定数調整用の、たとえば、A2からなる電極15(15a, 15b, 15c)を設け、所要の2つの電極間に電源30で電圧を印加すると基板結晶の電気光学効果により、光導波路の屈折率が変化し伝播定数も変わるので、たとえば、作成時の伝播定数のバラツキの調整や温度変化にともなう伝播定数の調整をし、位相不整合の補償を行うことができる利点がある。

第10図および第11図は本発明素子を用いたレーザ共振器の実施例を示す図(その1)および(その2)である。図中、200(200a, 200b)は本発明の実施例素子で、出射側端面に基本波に対しては高反射率、第2高調波の光に対しては低反射率となる膜4、入射側端面に基本波光に対して低反射率で第2高調波光に対しては高反射率を有する膜6を施したものである。70はカバー、7はレーザ発振素子で、たとえば、半導体レーザ素子であり出射側端面に反射防止用の膜8を、反対側の面に高反射率の膜9を施したものである。すなわち、高反射率膜9と基本波に対して高反射率を有する膜

特開平4-3127 (6)

4で半導体レーザ素子の外部共振器ミラーを構成し、その共振器の内部に本発明の実施例素子200を扣入して構成されたものであり、これにより小形で効率のよい外部共振器型第2高調波レーザ発振器が得られる。

以上述べた実施例は数例を示したもので、本発明の趣旨に添うものである限り、使用する素材や構成など適宜好みなもの、あるいはその組み合わせを用いてよいことは言うまでもない。

〔発明の効果〕

以上述べたように、本発明によれば素子の導波路化により基本波光のパワー密度が高まり変換効率が向上するとともに、基本波光と第2高調波光の屈折率差を周期構造により補償でき、しかも、その周期を徐々に変化するようすれば任意の波長で許容波長帯域の広い第2高調波発生素子が実現できるので、導波路型第2高調波発生素子の性能・品質の向上に寄与するところが極めて大きい。

4. 図面の簡単な説明

第1図～第9図は本発明の第1～第9実施例を示す図、

第10図および第11図は本発明素子を用いたレーザ共振器の実施例を示す図(その1)および(その2)、

第12図は従来の導波路型第2高調波発生素子の例を示す図である。

図において、

1,11は第1の光導波路、

2,21は第2の光導波路、

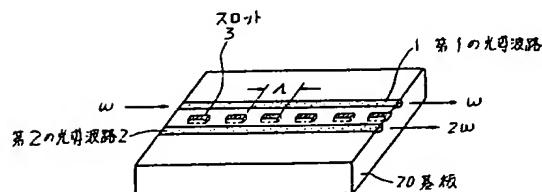
3はスロット、

4,5,6,8,9は膜、7はレーザ発振素子、

10は分極反転光導波路、15(15a,15b,15c)は電極、

20は基板、50は分極反転領域である。

代理人弁理士井桁貞一



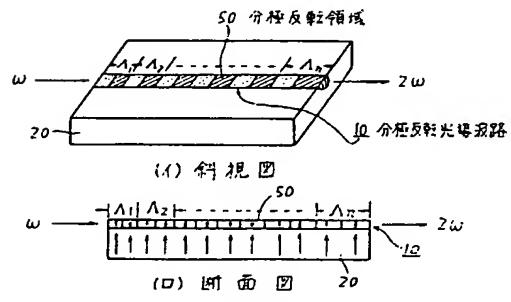
本発明の第1実施例を示す図
第1図



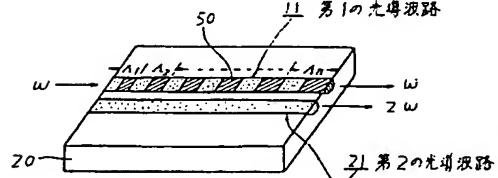
本発明の第2実施例を示す図
第2図



本発明の第3実施例を示す図
第3図

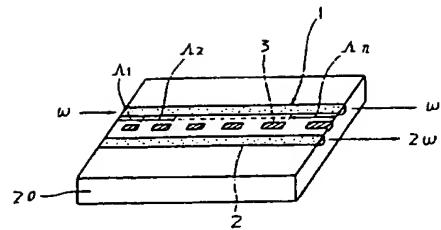


本発明の第4実施例を示す図
第4図

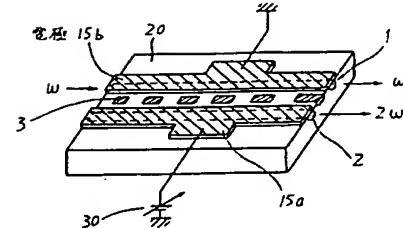


本発明の第5実施例を示す図
第5図

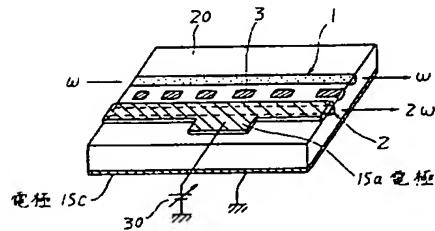
特開平4-3127 (7)



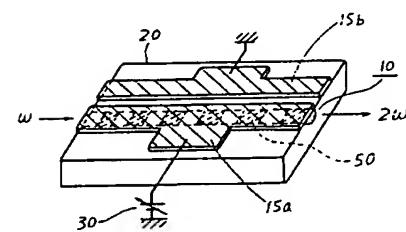
本発明の第6実施例を示す図
第6図



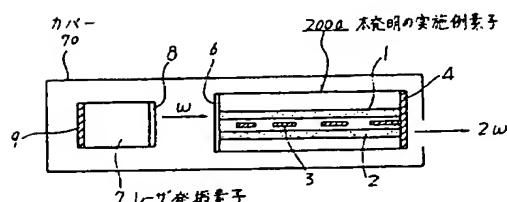
本発明の第8実施例を示す図
第8図



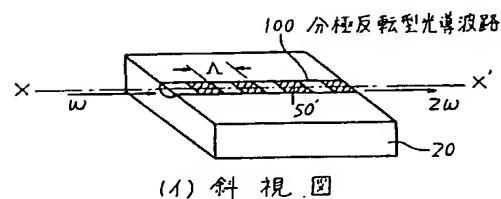
本発明の第7実施例を示す図
第7図



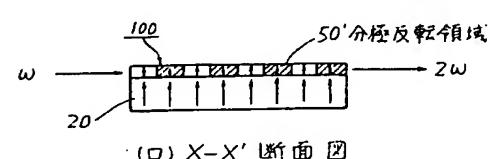
本発明の第9実施例を示す図
第9図



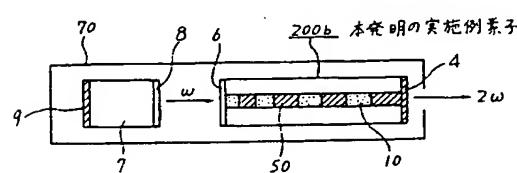
本発明素子を用いたレーザ共振器の実施例を示す図(その1)
第10図



(1) 斜視図



(2) X-X'断面図



本発明素子を用いたレーザ共振器の実施例を示す図(その2)
第11図

従来の導波路型第2高調波発生素子の例を示す図

第12図